

BAB II

KERANGKA TEORITIK, KERANGKA BERFIKIR, DAN HIPOTESIS PENELITIAN

2.1. Kajian Teoritik

2.1.1. Antena

Antena adalah elemen penting yang ada pada setiap system telekomunikasi tanpa kabel (nirkabel/wireless), tidak ada system telekomunikasi wireless yang tidak memiliki antena¹.

Antena merupakan elemen pada sistem komunikasi *wireless* (tanpa kabel) yang berperan untuk mengubah gelombang elektromagnetik tertuntun (dalam saluran kabel) menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat bebas diudara².

Antena berfungsi sebagai penerima dan pemancar radiasi gelombang, artinya mengubah gelombang elektromagnetik menjadi gelombang ruang bebas atau sebaliknya. Proses kerja dari antena didasarkan pada persamaan Maxwell terkait konsep elektromagnetik menyatakan sebuah hubungan medan magnet dan medan listrik seperti yang dikemukakan lewat hukum Faraday, Ampere, dan Gauss.

Persamaan Maxwell

¹Alaydrus Mudrik, Antena Prinsip dan Aplikasi, 2011, hlm 1.

²Sandi Efri, Konsep Dasar dan Parameter Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, hlm. 1

Hukum Faraday :

$$\oint E^p \cdot dL^p = \frac{d}{dt} \int D^p \cdot dS^p \quad (\text{Pers 2.1})$$

Hukum Ampere dan Pergeseran Maxwell

$$\oint H^p \cdot dL^p = \int J^p \cdot dS^p + \frac{d}{dt} \int D \cdot dS^p \quad (\text{Pers 2.2})$$

Hukum Gauss :

$$\int D^p \cdot dS = \int \rho \cdot dV = Q \quad (\text{Pers 2.3})$$

Hukum Gauss untuk Medan Magnet

$$\int B^p \cdot dS^p = 0 \quad (\text{Pers 2.4})$$

2.1.1.a. Jenis Antena

Berdasarkan definisi antena di atas, antena disusun menurut konfigurasi geometris dan elektris tertentu³.

Antena-antena disusun dalam array (grup antena). Jenis antena tersebut ialah array dipole, array waveguide, dan array mikrostrip. Pengelompokkan diprioritaskan untuk mempermudah analisis, sintesis, dan fabrikasi.

³Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 96

a.1. Antena Kawat

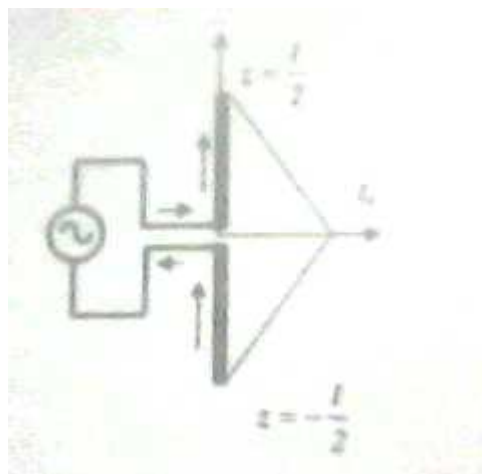
Antena dipole atau monopol adalah jenis antena yang paling banyak digunakan dalam aplikasi komunikasi tanpa kabel⁴.

Aplikasi antena difokuskan pada wilayah medan jauh (*far field region*) sehingga analisa elektromagnetik menjadi lebih mudah.

Berikut pembahasan array dipole seperti pada dipole Hertz:

1) Dipol Pendek

Mengandaikan panjang dipole l , dengan $l/50 < l < l/10$, distribusi arus dengan dipole pendek dapat diaproksimasikan berbentuk segi tiga (Gambar 2.1) dengan nilai arus yang maksimum di tengahnya⁵.



Gambar 2.1 Arus berbentuk segitiga pada antena dipole pendek

Pada ujung dipole, nilai harus nol karena tidak ada jalur arus yang akan membentuk fungsi sinus kearah dalam kawat.

⁴Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 75.

⁵Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 75.

2) Dipol Panjang

Berdasarkan pembahasan saluran transmisi, arus yang mengalir tergantung dari beban yang dipasangkan pada ujungnya, maka pada aplikasi antena dipole saluran transmisi dibiarkan terbuka⁶.



Gambar 2.2. Distribusi arus listrik pada antena dipole panjang

Gambar 2.2 menunjukkan distribusi arus sesuai dengan kaidah saluran transmisi untuk panjang kawat yang berbeda.

3) Dipol Setengah Gelombang (Dipol $\lambda/2$)

Dipol setengah gelombang (Dipol $\lambda/2$) adalah dipole dengan panjang setengah dari panjang gelombang pada frekuensi kerjanya⁷.

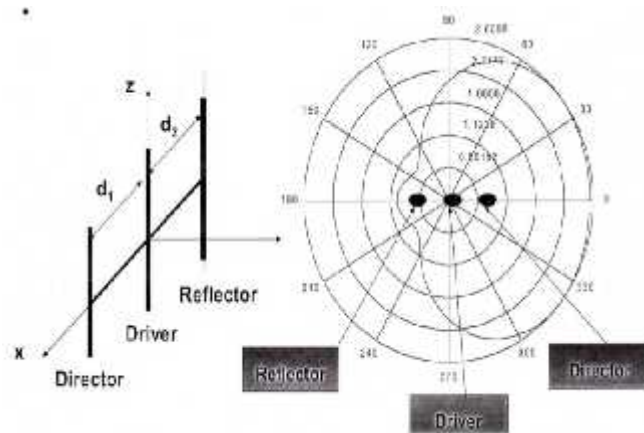
Antena dipole jenis setengah gelombang sering digunakan karena resistansi masukannya 73Ω , yang sangat dekat dengan impedansi karakteristik 75Ω dari beberapa saluran transmisi.

⁶Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 78.

⁷Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 86.

4) Antena Yagi-Uda

Antena Uda- Yagi seperti pada gambar 9 di atas merupakan antena penerima untuk frekuensi VHF-UHF karena memiliki sifat-sifat yang mendukung seperti desain pencatutan yang sederhana, harga murah, berat ringan, relatif dapat mencapai gain yang cukup tinggi⁸.



Gambar 2.3. Antena Yagi

Karena untuk frekuensi yang lebih tinggi akan terdapat redaman yang lebih besar dari kanal udara, maka implementasi antena UdaYagi untuk frekuensi yang lebih tinggi memerlukan gain yang lebih tinggi.

a.2. Antena Wiveguide

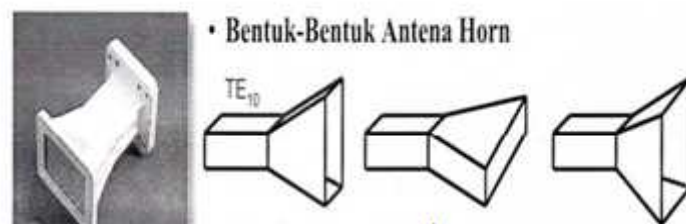
Antena yang menggunakan aplikasi waveguide ialah antena aperture. Antena aperture adalah jenis antena yang menggunakan teknologi *waveguide* (pemandu gelombang)⁹.

Memiliki kelebihan dan kekurangan. Terdapat dua kelemahan atau masalah dalam antena jenis Aperture san Horn, seperti gelombang

⁸Sandi Efri, Jenis dan Susunan Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 59.

⁹Sandi Efri, Jenis dan Susunan Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 43.

yang direfleksikan dengan dimensi panjang x lebar ke ruang bebas menyebabkan refleksi yang besar dan besarnya gain antenna aperture tergantung kepada besarnya aperture antenna itu sendiri sehingga jika dibutuhkan faktor gain yang lebih tinggi diperlukan perubahan *waveguide* sehingga perambatan gelombang akan terpengaruh. Pada Gambar 2.4 merupakan bentuk-bentuk antenna horn.



Gambar 2.4. Jenis Antena Horn a. E-Plane sectoral horn b. H-Plane sectoral horn c. Pyramidal horn

Penggunaan antenna horn terdapat pada bagian *feed (feed elemen)* antenna parabola yang berfungsi sebagai antenna primer.

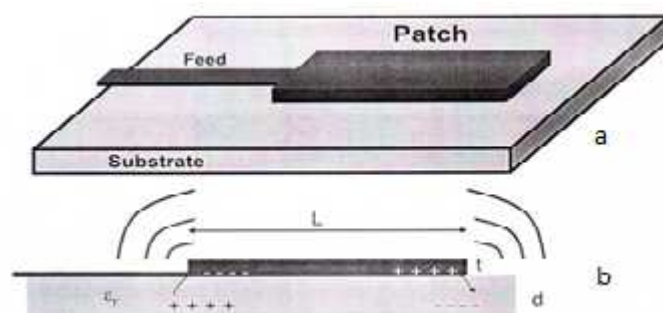
2. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antenna yang dikembangkan dari struktur pemandu gelombang mikrostrip (*microstrip lines*)¹⁰.

¹⁰Sandi Efri, Jenis dan Susunan Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 44

Pemandu gelombang mikrostrip merupakan jalur-jalur pada sebuah substrat yang terbuat dari material dielektrika seperti pada *printed circuit board* (PCB)¹¹.

Antena mikrostrip terdiri dari tiga lapisan, lapisan substrat, patch, dan jalur transmisi. Bagian substrat menggunakan bahan yang sesuai kebutuhan desain, karena dalam perhitungan dan sebuah rancangan jenis substrate yang digunakan akan berpengaruh pada besarnya patch serta pola radiasi yang dihasilkan. Patch menentukan pola radiasi dan besarnya gain yang dirancang. Patch akan menyebarkan gelombang elektromagnet sesuai frekuensi yang ditentukan.



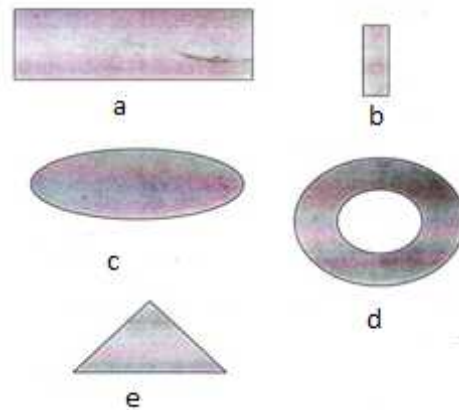
Gambar 2.5. Struktur Patch Antena Mikrostrip a. Tampak atas antenna b. Tampak samping antenna

Struktur dan bentuk patch antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2.5.

Transmisi line disertai dengan pencatuannya guna mengalirkan energy listrik untuk menjadi medan magnet dengan kinerja

¹¹Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 178.

elektromagnetik. Bentuk patch pada antena mikrostrip memiliki berbagai macam bentuk seperti Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Bentuk patch antena mikrostrip a. Rectangular

b. Dipole c. Elliptical d. Circular Ring e. Triangular

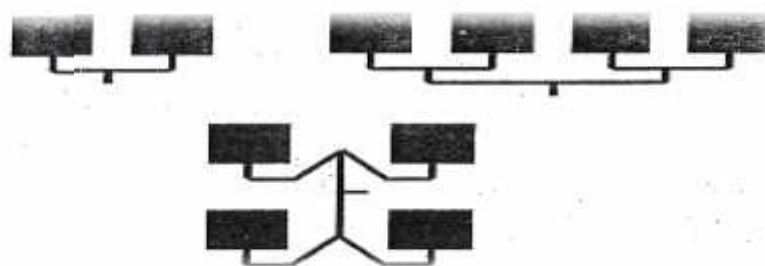
Berdasarkan penjelasan antena mikrostrip di atas, maka peneliti menjelaskan spesifik antena mikrostrip. Peneliti menjelaskan antena mikrostrip array, antena mikrostrip array linear, dan antena mikrostrip array *sparselinear*. Penjelasan selanjutnya sebagai berikut,

1) Antena Mikrostrip Array

Array antena adalah konfigurasi elemen memancar individu yang diatur dalam ruang dan dapat digunakan untuk menghasilkan pola radiasi directional. Jika dalam desain hanya dirancang *single patch* tentu tidak akan menghasilkan penjumlahan, maka solusi yang dilakukan adalah dengan melakukan susunan array pada antena mikrostrip.

Antena array dengan teknologi mikrostrip memiliki kelebihan dibandingkan dengan teknologi lainnya seperti elemen-elemen dan struktur pencatutan semua elemen (*feeding structure*) dibuat dengan proses yang sama, yaitu dicetak pada PCB secara bersamaan¹².

Gambar 2.7. menunjukkan pembentukan array mikrostrip. Hal penting yang harus diperhatikan adalah penggabungan beberapa elemen pada sebuah saluran mikrostrip terhubung. Penggabungan dapat menyebabkan terjadinya kondisi unmatched yang harus dikompensasi dengan pemilihan lebar strip yang disesuaikan dengan percabangan diujung saluran transmisi¹³.



Gambar 2.7. Antena mikrostrip array

Ada lima parameter yang dapat digunakan untuk mengontrol diagram radiasi dari array¹⁴:

1. Konfigurasi geometris array

- a. Linear. Antena disusun pada suatu garis tertentu,

¹²Sandi Efri, Jenis dan Susunan Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 210

¹³Sandi Efri, Jenis dan Susunan Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 210.

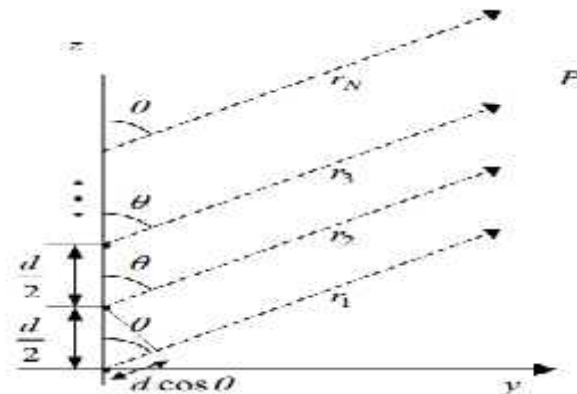
¹⁴Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 96.

- b. Circular. Disusun di atas suatu lingkaran,
 - c. Planar. Tersusun pada suatu bidang dua dimensi,
 - d. Secara tiga dimensi ruang.
2. Jarak dari satu elemen ke elemen lain
 3. Amplitudo arus atau tegangan yang dipasangkan pada feeding elemen antenna
 4. Phase arus atau tegangan pada feeding
 5. Diagram radiasi dari masing-masing elemen.

2) Antena Mikrostrip Array Linear N Elemen

Antena elemen tunggal memiliki pola radiasi yang luas dan karenanya memiliki *directivity* rendah yang tidak cocok untuk lama komunikasi jarak jauh. Sebuah *directivity* tinggi dapat dicapai dengan single-elemen antena dengan meningkatkan dimensi listrik (dalam hal panjang gelombang) dan fisik ukuran antena. Namun dalam perancangan pola array pemancar tergantung pada konfigurasi, jarak antara unsur-unsur, amplitudo dan fase eksitasi dari unsur-unsur, dan juga pola radiasi individu elemen. Antena tersusun secara array dapat diartikan sebagai antena yang tersusun berdasarkan banyaknya jumlah elemen.

Pada Gambar 2.8..menunjukkan array secara vertikal di sepanjang sumbu z. Jarak antara antenna yang berdekatan sama, yaitu d dan jumlah antenna ialah N , sehingga besar total antenna adalah $(N-1)d$ ¹⁵.



Gambar 2.8. Array linear yang terdiri dari N buah antenna di sepanjang sumbu z

Masing-masing elemen diberikan arus pecatu yang memiliki amplitudo yang sama tetapi phasa yang berbeda, yaitu phasa yang membesar secara linear dengan

$$I_1 = I$$

$$I_2 = I \cdot e^{j\beta}$$

$$I_3 = I \cdot e^{j2\beta}$$

Atau secara umum

$$I_n = I \cdot e^{j(n-1)\beta}$$

¹⁵Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 106.

Jarak dari setiap antenna ke titik pengamatan P di medan jauh adalah

$$r_1 = r$$

$$r_2 = r - d \cos \vartheta$$

$$r_3 = r - 2.d \cos \vartheta$$

Atau secara umum,

$$r_n = r - (n - 1).d \cos \vartheta \quad (\text{Pers 2.5})$$

Dengan analogi perhitungan seperti pada array dua elemen.

Faktor array untuk menjumlahkan antenna $N = 3$ dan $N = 6$. Dari perbandingan dua kasus terlihat dengan bertambahnya jumlah antenna akan muncul sidelobes tambahan, tetapi dengan peredaman yang lebih tinggi (*sidelobe rejection*), sehingga jika sidelobes yang paling tinggi telah diredam cukup besar, maka sidelobes yang lain akan membawa pengaruh yang tidak signifikan.

Beamwidth pada beam utama akan semakin menyempit maka array akan semakin direktif. Sesuai dengan medan listrik yang membesar dengan faktor AF, yaitu N kali gain elemen antenna penyusunnya. Maka gain dari array menjadi (dalam dB)

$$G_{0,\text{array}} [\text{dB}] = G_0[\text{dB}] - 20 \log N \quad (\text{Pers 2.6})$$

AF merupakan fungsi yang periodis dengan periode 2π . Sehingga untuk pengamatan yang sederhana dibatasi pada $0 \leq \vartheta \leq 2\pi$.

Dari pengamatan ada beberapa hal yang perlu disimpulkan terkait AF untuk array dengan jumlah N . Pancaran utama main beam selalu pada $\theta = 0$, $\theta = \pm 2$, $\theta = \pm 4$, dan seterusnya. Di tengah-tengah main beam terdapat garis simetri, yaitu di $\theta = \pm 1$, $\theta = \pm 3$, dan seterusnya. Ada $(N-2)$ buah sidelobes di antara dua main beam. Jika N genap, jumlah sidelobes juga genap, akan terbagi secara simetris di sebelah kiri dan kanan garis simetri masing-masing sejumlah $N/2 - 1$. Jika N ganjil, jumlah sidelobes juga ganjil. Sebuah sidelobe ada di garis simetri, dan masing-masing $(N-3)/2$ akan terbagi di kiri dan kanan.

Ada $N-1$ buah posisi nol di antara dua main beam. Setiap sidelobe akan diapit dua posisi nol. Sidelobe yang paling dekat dengan main lobe memiliki nilai yang paling tinggi, semakin ke dalam semakin mengecil.

Pada aplikasi radar yang digunakan untuk memiliki beamwidth yang sangat sempit, yang akan menentukan resolusi sudut dari radar tersebut, sehingga dapat mendeteksi objek-objek yang berdekatan sebagai objek deteksi yang terpisah. Mendapatkan antenna seperti karakteristik dengan memperbesar ukuran dari antenna itu sampai melebihi panjang gelombangnya. Tetapi alternatif tersebut akan memberikan masalah baru, yaitu munculnya sidelobe tambahan dengan peredaman yang mengganggu. Makin panjang/besar antenna tersebut, makin banyak pula sidelobes-nya.

3) Antena Mikrostrip Array Sparse Linear

Sparse dapat diartikan sebagai jarang, Antena mikrostrip array *sparse* linear ialah antena mikrostrip dengan susunan array linear secara jarang. Mengapa dibuat *sparse* pada antena array, karena dilatarbelakangi oleh efisiensi harga dan jumlah elemen antena. Efisiensi antena dalam hal nilai amplitud dari tiap fase. Kelebihan dari metode *sparse* array pada pola radiasi yang meningkat lebih besar dari dari $\frac{1}{2}$. Namun kelemahan dari *sparse* array adalah munculnya sinyal yang tidak diinginkan yaitu sidelobes dan gratinglobes¹⁶.

Pola pancaran bidang dari array dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$f(\theta, \phi) = w^T v(\theta, \phi) \quad (\text{Pers 2.7})$$

Dimana, w adalah suatu arah vektor dari sumbu tersebut yang merupakan gambaran dari bidang array tersebut dan v adalah garis vektornya. Karena unsur pola radiasi pada arah pengamatan maka, T merupakan operator perubahan. Maka garis vektor tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut¹⁷:

¹⁶Cristian I. Coman, Ioan E. Lager, and Leonardus P. Ligthart, 2006, *Design considerations in sparse array antennas*, hlm 72

¹⁷Cristian I. Coman, Ioan E. Lager, and Leonardus P. Ligthart, 2006, *Design considerations in sparse array antennas*, hlm 73.

$$v(\theta, \varphi) = \begin{pmatrix} g_1(\theta, \varphi) \exp \left[j \frac{x_1 + jy_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} (k_x x_1 + k_y y_1) \right] \\ g_2(\theta, \varphi) \exp \left[j \frac{x_2 + jy_2}{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}} (k_x x_2 + k_y y_2) \right] \\ g_N(\theta, \varphi) \exp \left[j \frac{x_N + jy_N}{\sqrt{x_N^2 + y_N^2}} (k_x x_N + k_y y_N) \right] \end{pmatrix} \quad \text{(Pers 2.8)}$$

Dimana,

$$k_x = k \sin(\theta) \cos(\varphi)$$

dan

$$k_y = k \sin(\theta) \sin(\varphi),$$

dengan $k = 2\pi / \lambda$ merupakan hasil dari propagasi yang tetap¹⁸.

Keterangan :

k = jarak peradiasi (mm)

x = titik koordinat x

y = titik koordinat y

N = banyaknya elemen peradiasi

¹⁸CristianI.Coman,loanE.Lager,andLeonardusP.Ligthart, 2006, *Design considerations insparse arrayantennas*, hlm 73.

4) Saluran Transmisi Mikrostrip

Saluran transmisi mikrostrip tersusun dari dua konduktor, yaitu sebuah garis lebar w dan bidang pertanahan (ground), keduanya dipisahkan oleh suatu substrat yang memiliki konstanta dielektrik relatif r dengan tinggi h . Substrate adalah parameter yang utama perlu diperhatikan dan menjadi landasan perhitungan untuk impedansi yang diharapkan. Impedansi karakteristik Z_0 dari saluran mikrostrip ditentukan oleh lebar strip (w) dan tinggi substrat (h).

Karakteristik saluran mikrostrip untuk $w/h < 1$

Konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} + 0.04 \left(1 - \frac{w}{h}\right)^2 \right]$$

(Pers 2.9)

Impedansi Karakteristik :

$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h} \right)$$

(Pers 2.10)

Karakteristik saluran mikrostrip untuk $w/h > 1$

Konstanta dielektrik efektif :

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{w}}} \right]$$

(Pers 2.11)

Impedansi Karakteristik :

$$Z_o = \frac{\frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}}}}{\frac{w}{h} + 1.393 + \frac{2}{3} \ln \left(\frac{w}{h} + 1.44 \right)}$$

(Pers 2.12)

Dimana :

Z_o : Impedansi Input ()

ϵ_{eff} : Epsilon efektif

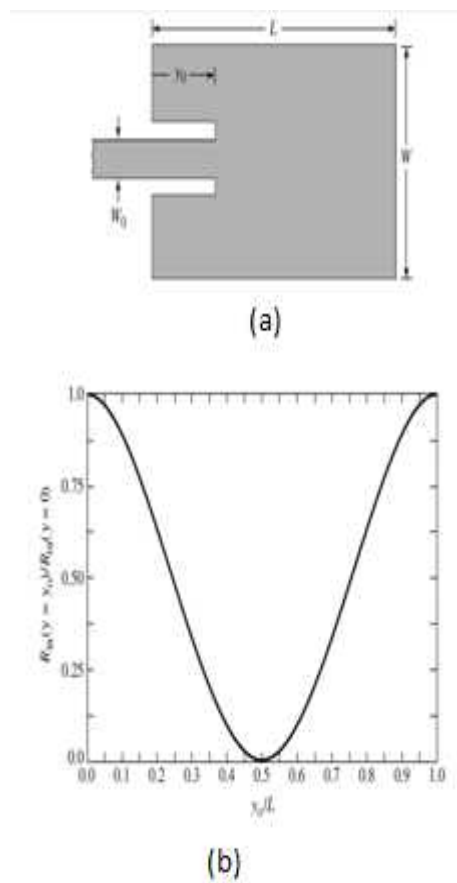
W : Lebar elemen peradiasi (mm)

h : Tinggi elemen peradiasi

ϵ_r : Epsilon Relatif

5) Inset Feed

Resonansi input secara resonan dapat dirubah dengan menggunakan inset feed. Inset ialah teknik yang dapat digunakan secara efektif untuk menyamakan resonan input peradiasi antenna menggunakan microstrip line. Gambar 2.9 menampilkan *microstrip line feed* dan grafik resistensi input.



Gambar 2.9. (a) Garis feeding Mikrostrip, (b) Grafik resistansi input

Penggunaan inset *feed* akan mempengaruhi nilai impedansi imputan yang semula dirancang 50 Ω , maka untuk dapat impedansi yang cocok dengan line transmisi, berikut rumus dalam resonan input,

$$R_{in}(y = y_0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_2)} \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right) \quad (\text{Pers 2.13})$$

Dengan

$y_0 = 0$, dimana tegangan dan arus bernilai maksimum,

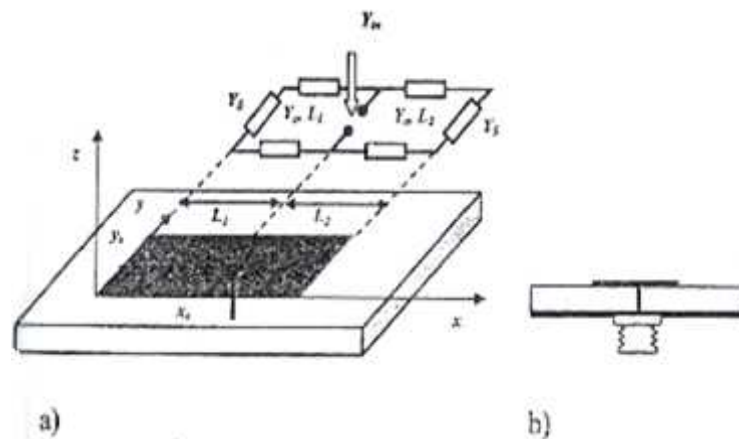
$y_0 = L/2$, di mana tegangan bernilai nol dan arus bernilai maksimum.

Nilai y_0 adalah minimum (*zero*) jika terletak pada titik tengah patch (peradiasi). Seperti pada gambar, titik inset feed ditempatkan pada tepi menuju titik tengah patch. ketika titik inset feed mendekati titik pusat patch, fungsi $\cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_0\right)$ akan berubah sangat variatif, untuk itu diperlukannya nilai toleransi untuk tetap menjaga keseimbangan resonan input.

6) Teknik Pencatuan

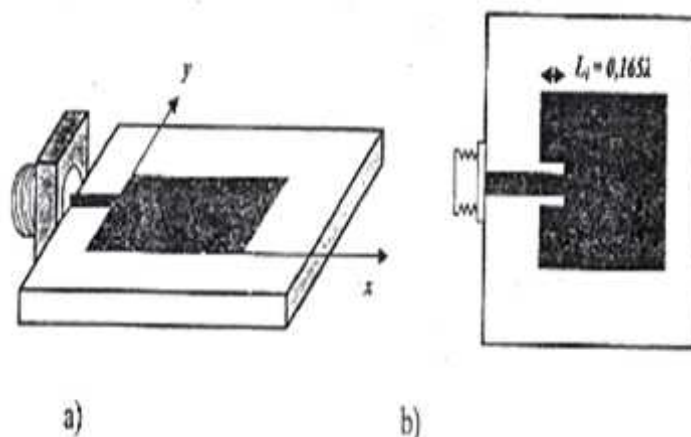
Untuk mengirimkan energi dari sumbernya ke antena mikrostrip, suatu pencatu (*feeding*) dengan bantuan konektor koaxial. Dari bagian bawah dari PCB (ground) yang dibor sampai ke bagian atas (patch), dimasukkan ke penghantar bagian dalam dari konektor sehingga

konektor dalam tersebut mengenai patch dan disolder bersama. Penghantar luar konektor akan disambungkan dengan metalitas bawah. Gambar 2.12 adalah pencatutan mikrostrip dengan penyambungan.



Gambar 2.10. Pencatutan coaxial dari bagian bawah, a. Tampak tiga dimensi b. Tampak samping

Konektor dalam dari konektor coaxial dihubungkan dengan mikrostrip bagian atas, sedangkan konduktor luar dihubungkan dengan ground seperti pada Gambar 2.13.



Gambar 2.11. Pencatutan mikrostrip dengan penyambung, a. Tampak tiga dimensi b. Tampak atas

Posisi pencatutan , yang ditandai dengan koordinat (x_s , y_s) dibuat sedemikian rupa sehingga terjadi matching antara konektor ke luar yang biasanya dibuat standar 50 ohm dengan impedansi masukan antenna mikrostrip. Untuk mendapatkan 50 ohm dapat dilakukan dengan.

$$x_s = \frac{\lambda_{eff}}{2\pi} \cos^{-1} \sqrt{\frac{50\Omega}{R_r}}$$

(Pers 2.14)

$$y_s = \frac{W}{2}$$

(Pers 2.15)

R_r dapat dihitung dengan persamaan

$$G_r = \frac{1}{R_r} = \begin{cases} \frac{1}{45} \left(\frac{W}{\lambda} \right)^2 & \text{untuk } W < 0,35\lambda \\ \frac{1}{60} \frac{W}{\lambda} - \frac{1}{30\pi^2} & \text{untuk } 0,35\lambda < W < 2\lambda \\ \frac{1}{60} \frac{W}{\lambda} & \text{untuk } 2\lambda < W \end{cases}$$

(Pers 2.16)

2.1.1.b. Parameter Antena

Karakteristik suatu antena ditunjukkan oleh beberapa parameter dasar sebuah antena. Parameter antena, digunakan sebagai standar penilaian suatu antena dapat dikatakan baik sesuai perancangan yang diharapkan untuk aplikasi yang dibuat. Parameter-parameter dasar antena mikrostrip sama seperti parameter antena lainnya yang meliputi

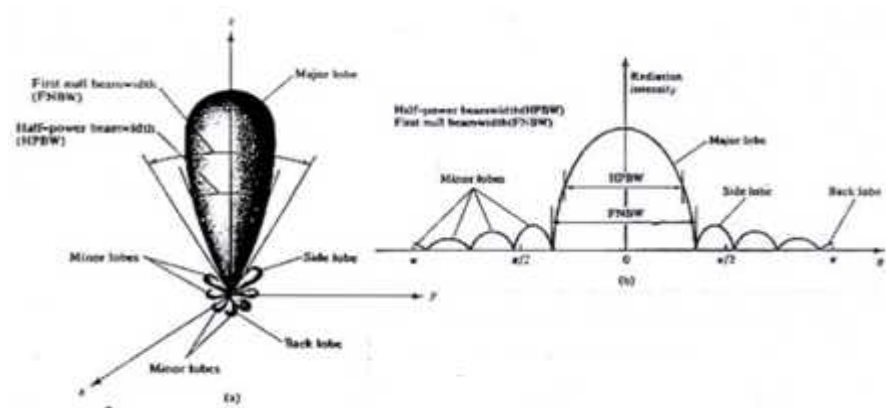
diagram radiasi, direktifitas, gain, polarisasi, impedansi input dan bandwidth. Berikut penjelasan dari beberapa parameter dasar sebuah antenna.

b.1. Diagram Radiasi

Diagram radiasi merupakan besaran penting pada sebuah antenna yang menunjukkan sebuah distribusi energi yang terpancarkan oleh antenna di ruang¹⁹.

Diagram radiasi sebagai besaran yang menentukan ke arah sudut mana sebuah antenna memancarkan/mendistribusikan energinya²⁰.

Besaran radiasi diukur dalam ruang pada medan jauh dengan jarak yang konstan terhadap antenna dengan sudut yang bervariasi (sudut dan sudut) dari besarnya phasa. Pola radiasi yang terbentuk dapat dibedakan berdasarkan jenis antenna, seperti *omnidirectional*, *isotrop* dan *directional*.



**Gambar 2.12. Diagram Arah radiasi (a) Lobe radiasi antenna
(b) Plot linear pola daya radiasi**

¹⁹Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 18.

²⁰Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 17.

Pada gambar 2.12 (b) digambarkan pola linear daya radiasi. Radiasi yang terbentuk dari sebuah antena akan memiliki minor lobe, side lobe, peak lobe, dan main lobe.

Lobe utama (main lobe) adalah lobe yang mempunyai arah dengan pola radiasi maksimum. Biasanya ada lobe-lobe yang lebih kecil dibandingkan dengan main lobe yang disebut dengan minor lobe. Minor lobe tersebut yang digunakan dengan side lobe.²¹ Side lobe dapat bernilai positif dan negatif. Pada dasarnya suatu pola dengan perhitungan yang kompleks. Menggunakan magnitude untuk pola medan atau pola daya untuk menyelesaikannya. Ukuran yang menyatakan seberapa besar daya yang terkonsentrasi pada side lobe dibandingkan dengan main lobe disebut Side Lobe Level (SLL), yang merupakan rasio dari besar puncak dari side lobe terbesar dengan harga maksimum dari main lobe. Side Lobe Level dinyatakan dalam decibel (dB), ditunjukkan pada persamaan .

$$SLL = 20 \log \frac{|F_{(SLL)}|}{|F_{(maks)}|} \text{ dB}$$

Dimana,

$F_{(SLL)}$: nilai puncak dari side lobe terbesar

$F_{(maks)}$: nilai maksimum dari main lobe

²¹ K-K Yan and Y.Lu, Side Lobe Reduction in Array Pattern Synthetic Using Genetic Algorithm, IEEE Trans, Antena Propagat, Vol.45, No. 7, July 1997. Hlm 1.

Untuk normalisasi, F (maks) mempunyai harga = 1 .

b.2. Direktifitas

Direktifitas merupakan pengarahannya konsentrasi energi dari pola radiasi suatu antena²².

Dalam persamaan direktifitas, semakin besar direktifitas suatu antena maka lebar berkas pola radiasi akan semakin sempit. Direktifitas sempit diperoleh jika antena disusun secara array dengan jarak yang ditentukan tiap elemen. Besarnya direktifitas suatu antena (D) dapat dihitung melalui perbandingan intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi rata-rata.

$$D = \frac{U_m}{U_o} = \frac{\text{Intensitas Radiasi Maksimum}}{\text{Intensitas Radiasi Rata-rata}}$$

atau,

$$D = \frac{U_m}{U_o} \times \frac{4\pi}{4\pi} = \frac{P_m}{P_o} = \frac{E_m^2}{E_o^2} \quad (\text{pers 2.17})$$

b.3. Gain

Gain merupakan faktor perbandingan antara daya output dengan input yang diberikan kepada suatu antena. Besarnya gain suatu antena dapat dihitung dengan membandingkan intensitas radiasi maksimum dengan intensitas radiasi antena referensi dengan daya input sama.

²²Sandi Efri, Konsep Dasar dan Parameter Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 13.

$$G = \frac{U_m}{U_{mr}} \quad (\text{Pers 2.18})$$

U_m : Intensitas Radiasi Maksimum

U_{mr} : Intensitas Radiasi Maksimum dengan daya Input sama

Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara isotropic sama dengan daya yang diterima oleh antenna (P_{in}) dibagi dengan 4. Gain antenna dapat dirumuskan:

$$G = D \cdot \eta \quad (\text{Pers 1.19})$$

Dimana:

D = Direktifitas

η = efisiensi antenna

Absolute gain ini dapat dihitung dengan rumus (balanis):

$$\text{Gain} = 4 \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (\text{Pers 1.20})$$

Antena referensi dapat menggunakan antenna isotropis ($\epsilon_{eff} = 100\%$), antenna dipole $\frac{1}{2}$, antenna horn dan sebagainya. untuk persamaan gain antenna array seperti pada pers 2.6.

b.4. Polarisasi

Polarisasi suatu antena memberikan informasi tentang arah perambatan medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dihasilkan sebuah antena.

Polarisasi sebuah antena terdiri dari dua jenis, antena polarisasi linear dan polarisasi eliptis. Pada polarisasi linear, arah medan listrik tidak berubah terhadap waktu dan hanya orientasinya yang berubah-ubah positif dan negatif²³. Sedangkan pada polarisasi eliptis perubahan waktu dan perambatan gelombang menyebabkan gelombang medan listrik dari gelombang tersebut melakukan putaran orientasi dengan penampang eliptis²⁴.

Polarisasi linear banyak diterapkan pada antena untuk pemancar radio AM dan komunikasi seluler. Sedangkan polarisasi eliptis banyak diterapkan pada antena untuk komunikasi satelit, karena diperlukan metoda untuk mengenali depolarisasi perambatan gelombang yang terkadang berubah jika menembus awan.

b.5. Impedansi input

Impedansi input antena merupakan impedansi yang diberikan antena terhadap rangkaian dan saluran diluar antena. Impedansi input merupakan parameter penting dalam perhitungan sebuah antena baik

²³Sandi Efri, Konsep Dasar dan Parameter Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 14.

²⁴Sandi Efri, Konsep Dasar dan Parameter Antena, Buku Ajar Antena dan Propagasi Gelombang, Jakarta, halm. 14.

mikrostrip dan antenna lainnya untuk mencapai kondisi yang sesuai (matching) dengan rangkaian luar atau saluran transmisi menuju antena. Impedansi input merupakan perbandingan antara tegangan dan arus atau medan listrik dan medan magnet yang sesuai dengan orientasinya.

Impedansi antenna dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_{in} = (R_{in} + j X_{in}) \quad (\text{Pers 2.21})$$

Dimana Z_{in} adalah impedansi masukan antenna, R_{in} adalah resistansi antenna, dan X_{in} adalah reaktansi antenna. Nilai resistansi antenna R_{in} terbagi menjadi dua komponen, yaitu resistansi radiasi antenna R_r dan *loss resistance* R_L .

$$R_{in} = R_r + R_L \quad (\text{Pers 2.22})$$

Resistansi radiasi adalah resistansi yang digunakan untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik, sedangkan *loss resistance* adalah resistansi yang disebabkan oleh rugi-rugi pada antenna.

Hubungan antara impedansi input (Z_{in}) dengan impedansi saluran transmisi (Z_o) akan menentukan besarnya faktor refleksi ().

$$= (Z_{in} - Z_o) / (Z_{in} + Z_o) \quad (\text{pers 2.23})$$

Dalam satuan dB dapat ditulis $r_{dB} = 20 \log | \quad / \quad |$

b.6. VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\max}$) dengan minimum ($|V|_{\min}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan. Di mana Z_L adalah impedansi beban (*load*) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*.

Rumus yang digunakan untuk mencari nilai VSWR atau S adalah:

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{Pers 2. 24})$$

Koefisien refleksi tegangan (Γ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi. Untuk beberapa kasus yang sederhana, ketika bagian imajiner dari adalah nol, maka:

$\Gamma = -1$: refleksi negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat,

$\Gamma = 0$: tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan *matched* sempurna,

$\Gamma = +1$: refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka.

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi *matching* pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk fabrikasi antenna adalah VSWR 2.

b.7. Bandwidth

Dalam menentukan bandwidth sebuah antenna perlu untuk menspesifikasikan kriteria antenna yang digunakan karena tidak terdapat definisi yang baku dari bandwidth. Beberapa definisi dari bandwidth yang berhubungan dengan antenna mikrostrip adalah :

- a. *Impedance bandwidth* adalah rentang frekuensi tertentu dimana patch antenna matching dengan saluran catunnya. *Matching* terjadi karena impedansi dari elemen antenna (patch dan saluran catu) bervariasi nilainya menurut frekuensi. Kondisi matching dari suatu elemen antenna dapat dilihat dari return loss atau VSWR -2, namun pada beberapa sistem ada yang meminta return loss -1,5 dB atau VSWR 1,5.
- b. *Pattern bandwidth* adalah rentang frekuensi dengan beamwidth, sidelobe, atau gain memenuhi nilai tertentu.

Gambar 2.10.dan Persamaan 2.17 ialah gambar dan rumus yang dapat digunakan untuk mencari bandwidth:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\%$$

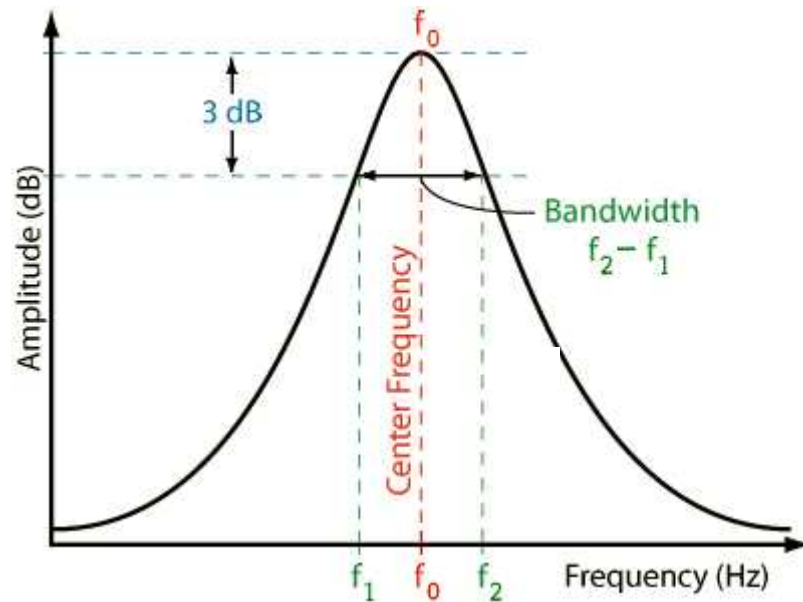
(Pers 2.25)

Dimana :

f_2 : Frekuensi tertinggi (Hz)

f_1 : Frekuensi terendah (Hz)

f_c : Frekuensi tengah (Hz)



Gambar 2.13 . Rentang frekuensi yang menjadi bandwidth

Axial Ratio Bandwidth (ARBW) adalah rentang frekuensi dimana polarisasi (linear atau melingkar) masih terjadi. Dengan menentukan nilai maksimum dari cross-polarization atau azial ratio. Pada umumnya nilai batas ARBW , 3. Nilai yang semakin mendekati 1 menunjukkan polarisasi antena semakin melingkar.

b.8. Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi merupakan frekuensi kerja dari sebuah antena. Rentang frekuensi dinamakan bandwidth, yang dapat dilihat dari grafik Return Loss dan grafik *Voltage Standing Rating* (VSWR).

b.9. Return Loss

Return Loss merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirim. Return Loss dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas antara saluran transmisi dengan impedansi masukan sehingga hasil yang dicapai sesuai (*matching*), sehingga tidak semua daya teradiasi namun dapat dipantulkan kembali.

Koefisien refleksi tegangan (Γ) yang sering disebut dengan perbandingan antara gelombang yang dipantulkan dengan gelombang yang terkirim. Berikut persamaan koefisien tegangan ialah sebagai berikut :

$$\Gamma = \frac{V_o^-}{V_o^+} = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} \quad (\text{Pers 2.26})$$

Dimana :

| | |
|----------|------------------------------------|
| Γ | : koefisien refleksi tegangan |
| V_0^- | : tegangan yang dipantulkan |
| V_0^+ | : tegangan yang dikirim (volt) |
| Z_L | : impedansi beban atau load (ohm) |
| Z_0 | : impedansi saluran lossless (ohm) |

Nilai return loss dapat dicari dengan memasukkan koefisien refleksi tegangan seperti persamaan 2.13.

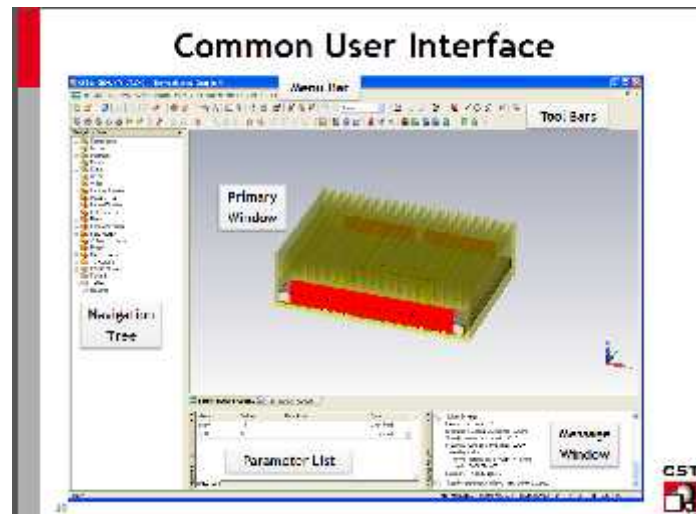
$$\text{Return Loss} = 20 \log_{10} \left| \frac{1}{\Gamma} \right| \quad (\text{Pers 2.27})$$

Return Loss menjadi acuan utama untuk dapat melihat, rancangan yang dibuat sesuai frekuensi kerja yang diharapkan.

2.1.1.c. Desain dan Pengujian Antena

c.1. Perangkat Lunak CST Studio Suite

Perangkat lunak yang dinamakan CST Studio Suite versi 2012.06 – Sep 29 2012. *All rights reserved. The Qt GUI Toolkit* adalah Hak Cipta Tahun 1994-2008 Nokia Corporation dan / atau anak perusahaan (-ies). zlib tujuan umum perpustakaan kompresi versi 1.2.2 tahun 1995-2004 Jean-loup Gailly dan Mark Adler.



Gambar 2.14. Layout Perangkat Lunak CST Studio

CST Studio Suite adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat rancangan dan mensimulasikan antenna. Pada simulasi antenna menentukan struktur bangun antenna beserta parameter-parameter antenna.

CST Studio Suite memiliki kelebihan-kelebihan khususnya untuk mendesain antenna mikrostrip. Selain fitur-fitur di atas yang dapat membantu dalam proses pembuatan desain, software CST mampu mensimulasikan dan melakukan perhitungan hingga menampilkan beberapa parameter antenna yang dibutuhkan. Simulasi antenna mikrostrip menggunakan software CST Studio Suite khususnya pada CST MICROWAVE STUDIO mampu memperlihatkan nilai gain, *sidelobes*, *beamwidth*, VSWR, *return loss*, besar amplitude, pola radiasi, directivity sebuah antenna. Perhitungan yang digunakan pada software CST STUDIO SUITE menggunakan metode dasar solver.

c.2. Metode CDS (Cyclic Difference Set)

Cyclic Difference Set (CDS) ialah salah satu metode yang digunakan untuk membuat jarak array antena. Metode cyclic sering digunakan dalam beberapa penelitian untuk menemukan teori baru dengan mengombinasikan dengan teori lainnya.

Mengoptimalkan nilai beam dengan mengombinasikan genetic algoritma dan teknik kombinasi lainnya ialah *Difference Sets Method*. Metode ini mengarahkan pada pengurangan antena array secara massif dengan mengecilkan puncak sidelobe level²⁵.

Cyclic Difference Sets (CDS), $D^{(V, K, \lambda)}$ didefinisikan dengan tiga nilai integer yang dapat diatur dengan persamaan 2.28.

$$D = \{0, d_1, \dots, d_{K-1}\} \subset \{0, 1, \dots, V-1\}, \quad (Pers. 2.28)$$

adalah waktu (t),

(V, K, λ) dalam CDS adalah bagian dari $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{K-1}\}$ dengan $\lambda = (K - n)$ dan $n = k - \lambda$ adalah urutan dari difference set²⁶.

Desain Isophoric array untuk linear dan planar baik lebar maupun kecil difokuskan untuk array yang berkurang sebesar 50%²⁷.

²⁵Caorsi S, Lommi A, dkk, *Peak Sidelobe Level Reduction With A Hybrid Approach Based On A GAS and Difference Sets*, 2011, DISI-11-009.

²⁶Boumert Leonard D, Gordon Daniel M, *On the existence of cyclic difference sets with small parameters*, Vol 00,0000.

²⁷Leeper David G, *Isophoric Arrays—Massively Thinned Phased Arrays with Well-Controlled Sidelobes*, Desember 1999, Vol 47.

Dalam isophoric array setiap nomor sample akan dikunci untuk menjaga nilai beam tetap constant $1/K$ dalam detik. K adalah nomor *elemen* dalam penguraian array. Dan V adalah aperture linear array $\frac{1}{2}$.

Pola radiasi dari faktor array pada dasar CDS array menghasilkan dua nilai, yaitu pola radiasi yang diinginkan dan nilai riak yang tidak diinginkan. Riak yang paling baik disebelah main lobe, tetapi pada metode CDS, dapat mengefektifkan array secara optimal dalam hubungan PSL dengan pengurangan nilai sidelobe pada *elemen* . Ditunjukkan pada persamaan 2.29 dan 2.30.

$$PSL_{RANE}^{1D} - PSL_{DS}^{1D} = 3 + 10 \log (1 - K/V)^{-1} \text{ dB} \quad (\text{Pers. 2.29})$$

Dan

$$PSL_{RANE}^{2D} - PSL_{DS}^{2D} = 1.5 + 10 \log (1 - K/V)^{-1} \text{ dB} \quad (\text{Pers 2.30})$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk array planar dan linear. Persamaan 2.31 untuk mengetahui nilai PSL array random.

$$PSL = 10 \log(1/K) \text{ dB} \quad (\text{Pers 2.31})$$

Aplikasi konfigurasi linear Array pada Metode *Cyclic Difference Sets* dapat melihat Tabel 2.1 yang diupdate pada tanggal 06/09/2003.

Tabel 2.1 List Cyclic Difference Sets

| V | K | T | n | $d_1 d_2 d_3 d_4 d_5 d_6 d_7$ |
|----|---|---|---|-------------------------------|
| 7 | 3 | 1 | 2 | 1 2 4 |
| 13 | 4 | 1 | 3 | 0 1 3 9 |
| 11 | 5 | 2 | 3 | 1 3 4 5 9 |
| 21 | 5 | 1 | 4 | 3 6 7 12 14 |
| 31 | 6 | 1 | 5 | 1 5 11 24 25 27 |
| 15 | 7 | 3 | 4 | 0 1 2 4 5 8 10 |

Seperti pada tabel 2.1, nilai sidelobe untuk konfigurasi (15 elemen, 7 elemen, 3 elemen) dapat menggunakan persamaan 2.31. Nilai sidelobe yang diperoleh sebesar - 8.5 dB.

c.3. Desain Antena Mikrostrip

Dalam kamus besar bahasa Indonesia, desain dapat diartikan seperti kerangka bentuk, motif, rancangan, dan motif²⁸.

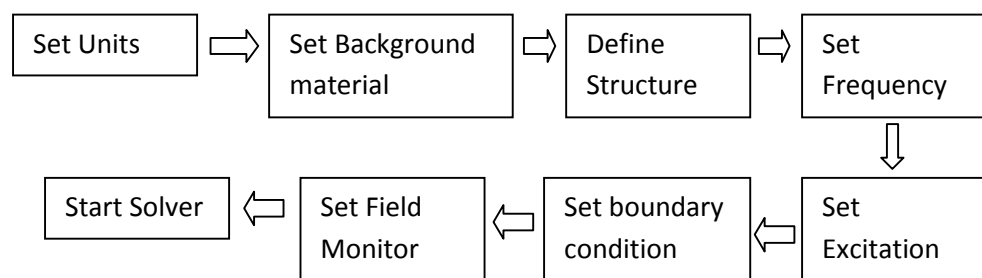
Mendesain antena dapat diartikan sebagai mendesain rancangan antena.

Perancangan teknik adalah seluruh aktivitas untuk membangun dan mendefinisikan solusi bagi masalah-masalah yang tidak dapat

²⁸Tim Penyusun KBBI, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, Jakarta, Departemen Pendidikan Nasional, 2008 .

dipecahkan sebelumnya atau solusi dari berbagai masalah sebelumnya telah dipecahkan namun dengan cara yang berbeda²⁹.

Peneliti mendesain antenna sesuai karakteristik yang di harapkan. Desain antenna mikrostrip menggunakan perangkat lunak CST Studio berdasarkan definisi desain yang telah dikemukakan sebelumnya dan CST Training Core Module Antena. Berikut langkah-langkah dalam pembuatan desain antenna mikrostrip dengan bentuk lingkaran :



Gambar 2.15. Alur Desain Antena menggunakan CST

Keterangan:

1. *Set Units* adalah mengatur satuan dari masing-masing elemen yang akan digunakan. Set Unit telah diatur secara *default* untuk struktur yang bertipe geometri maka *units* memiliki satuan mm dan frekuensi GHz.
2. *Background Material* adalah mengatur bahan apa yang akan digunakan untuk mendesain *background* antenna mikrostrip tersebut.
3. *Define Structure* mendefinisikan struktur, ukuran tiap elemen , dan bentuk yang digunakan untuk mendesain sebuah antenna mikrostrip.

²⁹Mudrik Alaydrus, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2011, hlm. 4.

4. *Set Frequency* adalah untuk mengatur frekuensi kerja yang akan digunakan dalam mendesain antena mikrostrip.
5. *Set Excitation* adalah untuk mengatur eksitasi yang digunakan untuk mendesain sebuah antena mikrostrip.
6. *Set Boundary Condition* adalah untuk mengatur syarat batas pada saat simulasi, atau batasan apa saja yang digunakan agar dalam mendesain tidak keluar dari hasil yang diinginkan.
7. *Set Field Monitor* adalah mengatur parameter yang akan dimunculkan saat simulasi dilakukan.
8. *Start Solver* adalah Adalah memulai simulasi pada CST Microwave Studio Suite

c.4. Pengujian Antena Mikrostrip

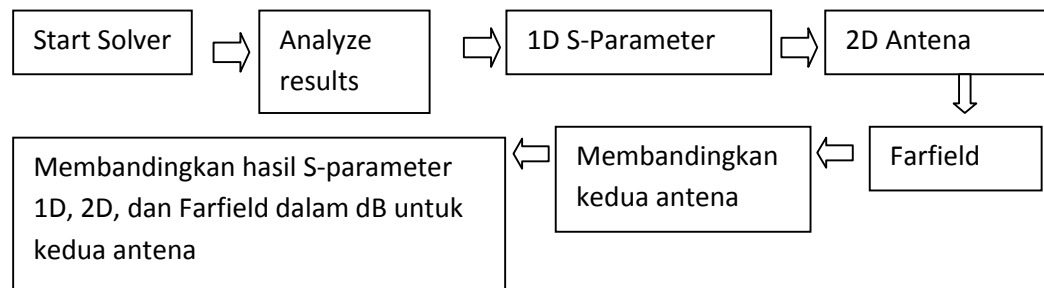
Menguji antena mikrostrip menggunakan perangkat lunak CST Studio guna mengetahui bagaimana hasil desain yang telah dibuat. Menurut kamus besar bahasa Indonesia menguji didefinisikan sebagai memeriksa sesuatu untuk mengetahui kualitas, kepandaian, dan sebagainya³⁰.

Berdasarkan definisi tersebut, sebuah menguji antena perlu dilakukan sebab memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

³⁰Tim Penyusun KBBI, *Kamus Besar Bahasa Indonesia*, Jakarta, Departemen Pendidikan Nasional, 2008 halm. 1580.

- a. Menguji dilakukan untuk memastikan bahwa antenna yang dibuat sesuai kriteria yang ditentukan.
- b. Menguji antenna untuk melakukan pengembangan produk jika terdapat beberapa kondisi system yang tidak diharapkan
- c. Menguji antenna untuk dapat melakukan koreksi dan perbaikan produk.

Langkah-langkah menguji antenna menggunakan perangkat lunak CST Studio berdasarkan CST Training Core Module Antena setelah melakukan desain antenna sebagai berikut :



Gambar 2.16 . Pengujiannya antenna menggunakan CST

Perangkat lunak CST MICROWAVE STUDIO SUITE untuk dapat menghasilkan hasil perhitungan lalu dapat disimulasikan, CST menggunakan dua metode seperti *Integral Equation Method* dan *Method of Moment*. Kedua metode secara langsung sudah terintegrasikan dalam software hingga pengguna sudah dapat melihat langsung hasil perhitungan dalam kolom perhitungan jika telah menyelesaikan start solver. Kedua metode dapat dijelaskan seperti berikut.

1. *Integral Equation Method*

Integral Equation Method yakni metoda dari persamaan integral untuk meradiasikan kerapatan arus yang mana terjadi pada permukaan (*surface wave*). Persamaan integral kemudian dapat digunakan untuk kerapatan arus induksi yang tak terdefinisi dengan menggunakan teknik kuatitatif. Untuk mengetahui teknik tersebut, maka dimulai dengan suatu masalah elektrostatika³¹.

- a. *Electrostatic Charge Distribution* adalah proses dimana ditemukannya masalah dalam suatu persamaan integral pendekatan untuk memecahkan muatan distribusi elektrik
- b. *Integral Equation* adalah persamaan integral yang dapat digunakan untuk memecahkan untuk radiasi dan permasalahan dalam radiasi.

2. *Method of Moments*

Method of Moments adalah metode untuk mendapatkan solusi dari persamaan fungsi turunan, integral dan lain-lain dengan menggunakan bentuk matrik. Gambar 2.17 menunjukkan sebuah plat tipis yang bermuatan. Plat tersebut dibagi ke dalam N segmen yang mempunyai luas sebesar s . Pembagian segmen tersebut sesuai dengan prinsip dari

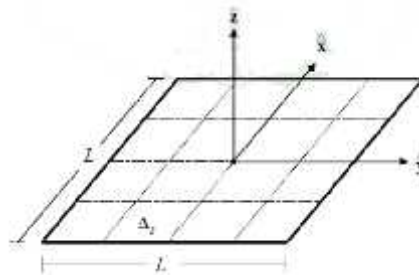
³¹Constantinie A. Balanis, *Antenna Theory Analysis And Design*, Canada, USA: John Wiley and Sons, inc., 2005, hlm 43.

method of moments dengan memecah objek yang diamati. Metode berdasarkan metode moment terdiri dari dua tahapan ³².

Tahap pertama adalah arus listrik yang belum diketahui $I(z')$ ditunjukkan sebagai gabungan fungsi (j_1, j_2, j_3, \dots) seperti ditunjukkan oleh persamaan (2.32) dalam bentuk gabungan linear.

$$I(z') = I_1 J_1 + I_2 J_2 + \dots + I_N J_N = \sum_{n=1}^N I_n J_n(z') \quad (\text{Pers 2.33})$$

Dimana $I_n (n = 1, 2, 3, \dots, N)$ adalah koefisien ekspansi yang telah ditentukan $j_n(z')$ dan ($n = 1, 2, 3, \dots, N$) adalah fungsi ekspansi (*expansion function* atau *basis function*) yang sudah diketahui.



Gambar 2.17. Plat Tipis Bermuatan

$J_n(z')$ bernilai bukan nol pada tiap bagian kecil Z_n , dimana nilai 0 dan 1 mempunyai arti nilai 'tidak' dan 'ada'nya nilai $J_n(z')$.

$$J_n(z') = J_n(z') \quad z' \in Z_n \quad (\text{Pers 2.34})$$

³²Constantinie A. Balanis, *Antenna Theory Analysis And Design*, Canada, USA: John Wiley and Sons, inc., 2005, hlm 450.

$$J_n(z') = 0 \quad \text{Lainnya} \quad (\text{Pers 2.35})$$

Kemudian persamaan (2.35) disubstitusikan ke dalam komponen persamaan integral *Pocklington* seperti pada persamaan 2.36.

$$\frac{1}{j\omega\epsilon} \int_{-L}^{+L} I(Z) \left[\frac{\partial^2 v(z, z')}{\partial z^2} + {}^2V(z, z') \right] dz' + E_z^1(z) = 0 \quad (\text{Pers 2.36})$$

Apabila persamaan diatas adalah $R(z)$, maka dapat diperoleh

$$R(z) = \int_{-L}^{+L} I_n(z, z') J_n(z') dz' + E_z^1(z) \quad (\text{Pers 2.37})$$

Dimana,

$$(z, z') = \frac{1}{j\omega\epsilon} \int_{-L}^{+L} I(Z) \left[\frac{\partial^2 v(z, z')}{\partial z^2} + {}^2V(z, z') \right] dz' \quad (\text{Pers 2.38})$$

Dalam persamaan (2.38), $R(z)$ menunjukan nilai (*residu*), dimana idealnya mempunyai nilai yang sangat kecil sehingga mendekati nilai nol atau nol sendiri

Tahapan kedua adalah mengaitkan fungsi yang sudah diketahui $W_m(z)$ ($m = 1, 2, 3, \dots, N$) dengan $R(z)$, kemudian diintegral, maka akan diperoleh persamaan 2.39.

$$\int_{-L}^{+L} W_m(z) R(z) dz = 0 \quad (m = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (\text{Pers 2.39})$$

Dimana $W_m(z)$ ($m = 1, 2, 3, \dots, N$) disebut juga sebagai fungsi beban atau fungsi penguji. Fungsi beban $W_m(z)$ mempunyai nilai bukan nol di bagian ruang kecil Z_m . Dalam proses mencari kombinasi deret $W_m(z)$ terbaik agar persamaan (2.40) mempunyai jumlah yang mendekati nol.

$$W_m(z) = W_m(z) \quad z \in Z_m \quad (\text{Pers 2.40})$$

$$W_m(z) = 0 \quad \text{Lainnya} \quad (\text{Pers 2.41})$$

Sehingga persamaan (2.41) akan menjadi seperti persamaan 2.42.

$$\begin{aligned} & \int_{Z_m} W_m(z) \int_{Z_n} J_n(z') (z, z') dz' dz \\ &= - \int_{Z_n} W_m(z) E_z^1(z) \end{aligned} \quad (\text{Pers 2.42})$$

Persamaan diatas adalah persamaan deret I_n yang dapat ditunjukkan sebagai

$$Z_{mn} I_n = V_m \quad (m = 1, 2, 3, \dots, N) \quad (\text{Pers 2.43})$$

Dimana,

$$Z_{mn} = \int_{Z_m} W_m(z) \int_{Z_n} J_n(z') (z, z') dz' dz \quad (\text{Pers 2.44})$$

$$V_m = - \int_{Z_n} W_m(z) E_z^1(z) \quad (\text{Pers 2.45})$$

Persamaan (2.45) dapat disusun kembali dalam bentuk matriks impedan yang tereksansi matrik tegangan listrik.

Koefisien ekspansi yang belum diketahui $[In]$ dapat diperoleh dari $[In] = [Zmn]^{-1}[Vm].[In]$ yang telah ditentukan kemudian didistribusikan kembali kedalam persamaan, sehingga arus listrik yang belum diketahui dapat ditentukan.

2.1.2. Hasil Penelitian Terkait Perangkat Lunak CST Studio

Beberapa penelitian antenna terkait perangkat lunak CST MICROWAVE STUDIO untuk pembuatan desain dan pengujian antenna. Hasil penelitian yang sudah dilakukan sebagai pemvalidasi suatu instrument uji dari penelitian . Berikut beberapa penelitian dunia yang menggunakan instrumen tersebut :

- a. Penelitian dengan judul *3D Field simulation of sparse arrays using various solver techniques within CST MICROWAVE STUDIO* oleh Frank Demming-Janssen and Wigand Kock, CST GmbH, Darmstadt, D-64289, Germany. Penelitian tersebut telah berhasil menampilkan perbedaan volume dan tampilan mesh dengan metode dasar solver. Peneliti mampu menghasilkan pola radiasi pada frekuensi 2.5 GHz dan pertimbangan S-parameter yang lebih baik.
- b. Penelitian dengan judul *A Novel Deterministic Synthesis Technique for Constrained Sparse Array Design Problems* oleh Diego Caratelli and Maria Carolina Vigano, Member, IEEE. Penelitian tersebut mampu menghasilkan nilai beamwidth antenna, pola radiasi, dan S-parameter antenna.

2.1.3. Hasil Penelitian Terkait Metode CDS (*Cyclic Difference Set*)

Beberapa penelitian antenna terkait metode CDS (*Cyclic Difference Set*) untuk pembuatan desain dan pengujian antenna. Hasil penelitian yang sudah dilakukan sebagai pemvalidasi suatu instrument uji dari penelitian. Berikut beberapa penelitian dunia yang menggunakan instrumen tersebut:

- a. Penelitian dengan judul *Isophoric Arrays Massively Thinned Phased Arrays with Well-Controlled Sidelobes*, karya David G Leeper menjelaskan bahwa side lobe dapat dikontrol dengan particular isophoric linear, di mana $K = 32$ elemen pada $V = 62$ elemen mampu menghasilkan nilai side lobe $-15,05$ dB.
- b. Penelitian dengan judul *Peak Sidelobe Level Reduction With Hybrid Approach Based On A GAS and Difference Sets*, karya S Caori, A Lommi, A Massa, dan M Pastorin membandingkan nilai sidelobe dengan konfigurasi (62, 32, 16) elemen menggunakan metode CDS, SGA, dan DSGA. Hasil penelitian seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Hasil nilai side lobe dengan metode CDS, SGA, dan DSGA.

Tabel 2.2 Untuk Unjuk Kerja Dari (63 Elemen, 30 Elemen, 15 Elemen) Menggunakan Metode Cds Untuk Optimasi Puncak Sidelobe.

| Metod | PSL Linear | | | | PSL Planar | | | |
|-------|------------|--------|--------|------|------------|--------|--------|------|
| | Best | Worst | Avg | Var | Best | Worst | Avg | Var |
| CDS | -13,53 | -9,53 | -11,44 | 1,21 | -12,47 | -7,87 | -9,44 | 1,35 |
| SGA | -14,6 | -13,68 | -14,1 | 0,23 | -13,69 | -12,44 | -13 | 0,23 |
| DSGA | -15,39 | -14,07 | -14,49 | 0,17 | -14,26 | -12,55 | -13,23 | 0,39 |

Pada tabel 2.1. merupakan unjuk kerja dari $V = 63$ elemen, $K = 32$ elemen, dan $= 16$ elemen dengan menggunakan persamaan 2.43 pada Metode CDS³³

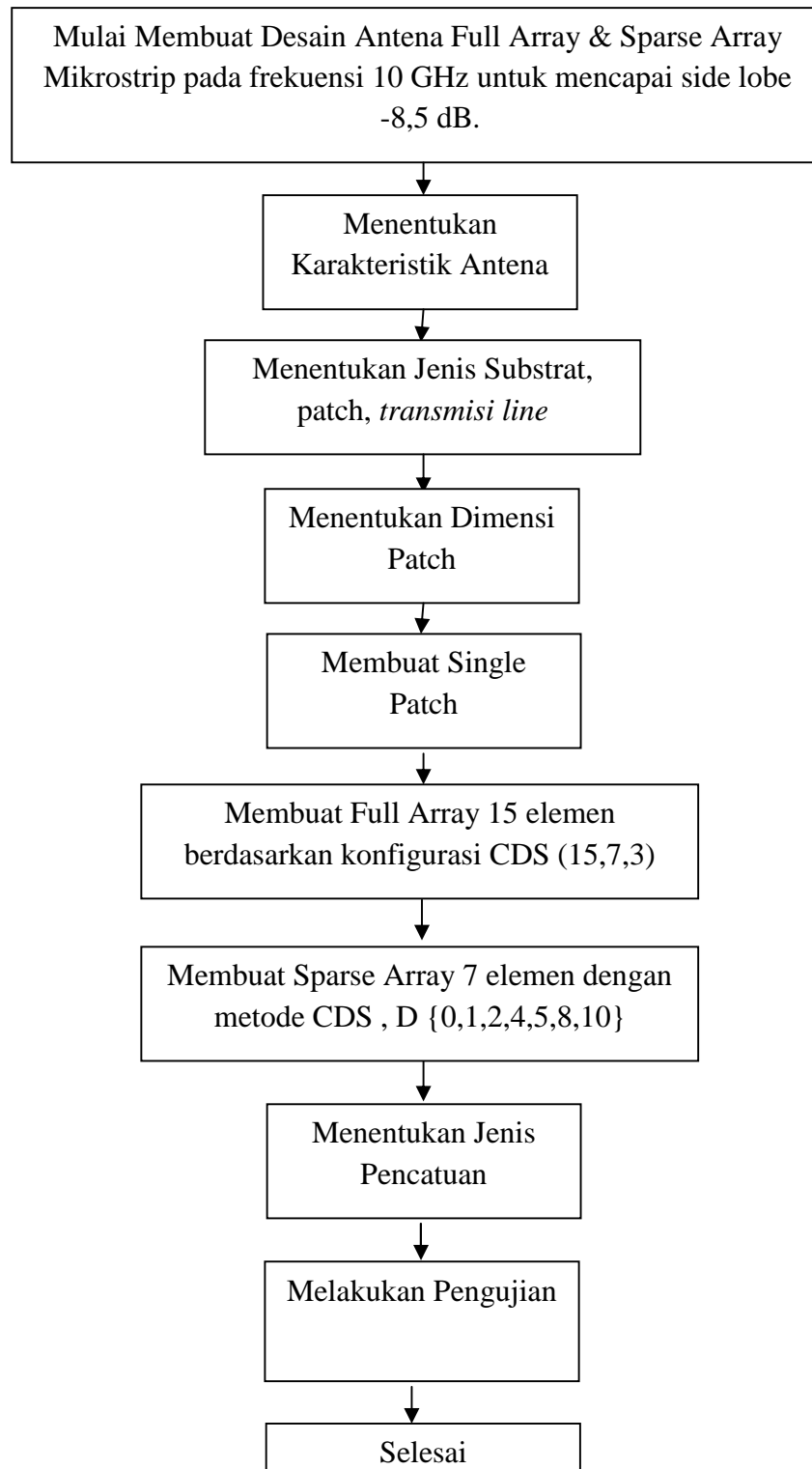
2.2. Kerangka Berfikir

Didasari oleh teori-teori yang telah dijelaskan, dapat diketahui bahwa untuk mendesain dan menguji antenna mikrostrip *sparse array* linear 7 elemen dengan metode *Cyclic Difference Set* (CDS) terlebih dahulu memahami parameter serta karakteristik sebuah antenna mikrostrip. Untuk mengetahui hal yang diperlukan dalam penelitian diperlukan studi literature yang komprehensif dan melakukan simulasi antenna dengan menggunakan perangkat lunak serta melakukan pengukuran, sehingga alur kerangka berfikir penelitian antenna mikrostrip seperti pada Gambar 2.21.

³³Caorsi S, Lommi A, dkk, 2011, Peak Sidelobe Level Reduction With A Hybrid Approach Based On A Gas And Difference Set, hlm 12.

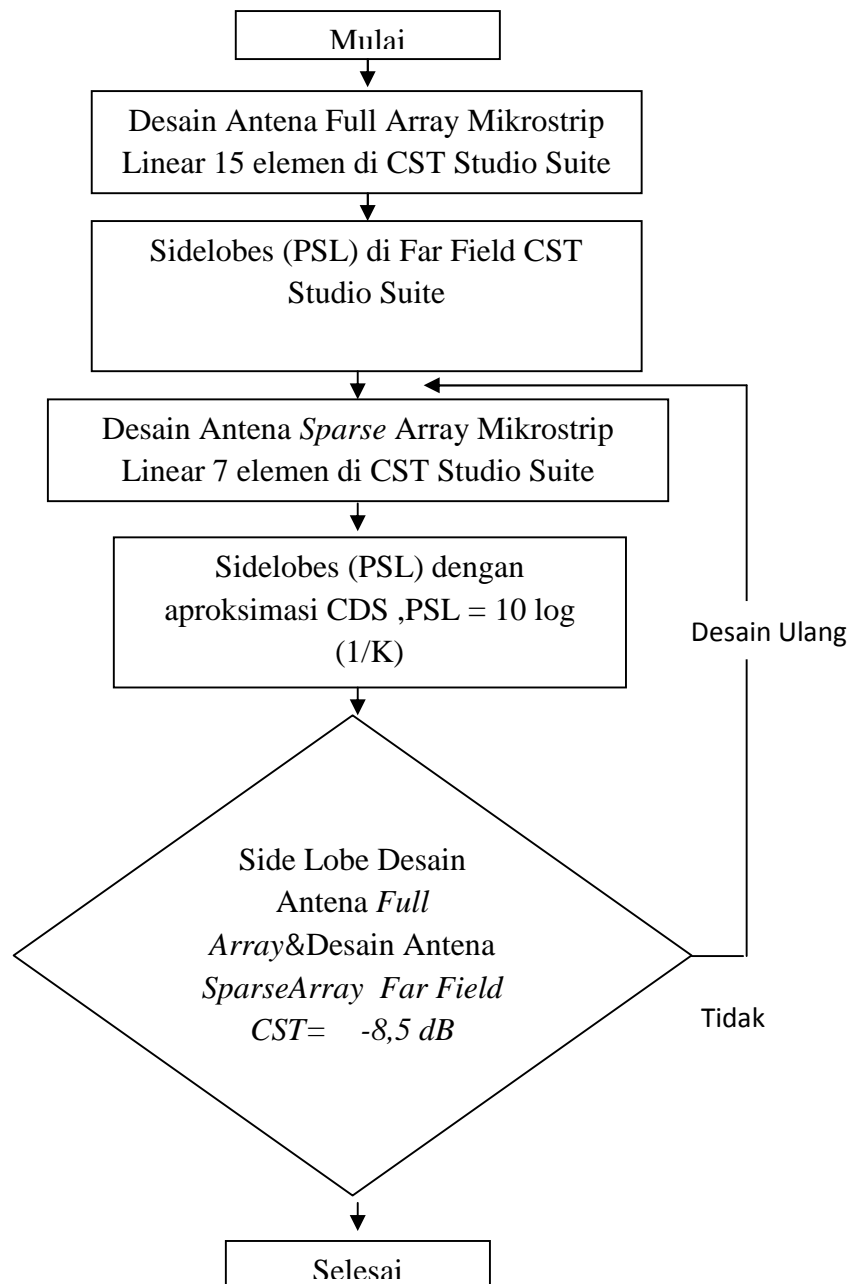
Mendesain antenna mikrostrip *sparse* array linear 7 elemen menggunakan tahap-tahap yang sudah dijelaskan pada sub bab mendesain antenna mikrostrip menggunakan perangkat lunak CST Microwave Studio. Elemen yang dibuat dalam mendesain antenna mikrostrip yaitu substrat, patch, *line transmisi*, inset, *ground*, dan port (pencatuan) seperti pada gambar 2.15. Mendesain dengan band frekuensi 8 – 12 GHz pada frekuensi kerja 10GHz menggunakan metode CDS sesuai table 2.2 untuk tata letak elemen *sparse*.

Pengujian antenna mikrosotrip *sparse* array linear 7 elemen dengan menghasilkan nilai side lobe berdasarkan perhitungan aproksimasi dan simulasi. Hasil yang dituju ialah berupa nilai sidelobe - 8,5 dB. Alur pengujian antenna dapat di jelaskan dalam flowchart Gambar 2.22.



Gambar 2.18.

Diagram Alir Desain Antena menggunakan CST Studio Suite



Gambar 2.19. Diagram Alir Pengujian Antena

| | |
|--|----|
| BAB II..... | 6 |
| KERANGKA TEORITIK, KERANGKA BERFIKIR, DAN HIPOTESIS PENELITIAN | 6 |
| 2.1. Kajian Teoritik | 6 |
| 2.1.1. Antena..... | 6 |
| 2.1.1.a. Jenis Antena | 7 |
| a.1. Antena Kawat..... | 8 |
| a.2. Antena Wiveguide..... | 10 |
| a.2. Antena Mikrostrip | 11 |
| 1) Antena Mikrostrip Array | 13 |
| 2) Antena Mikrostrip Array Linear N Elemen | 15 |
| 3) Antena Mikrostrip Array SparseLinear..... | 19 |
| 4) Saluran Transmisi Mikrostrip | 21 |
| 5) Inset Feed..... | 23 |
| 6) Teknik Pencatuan | 24 |
| 2.1.1.b. Parameter Antena..... | 26 |
| b.1. Diagram Radiasi..... | 27 |
| b.2. Direktifitas..... | 29 |
| b.3. Gain | 29 |
| b.4. Polarisasi | 31 |
| b.5. Impedansi input | 31 |
| b.6. VSWR (<i>Voltage Standing Wave Ratio</i>) | 33 |
| b.7. Bandwidth | 34 |
| b.8. Frekuensi Resonansi..... | 36 |
| b.9. Return Loss..... | 36 |
| 2.1.1.c. Desain dan Pengujian Antena | 37 |
| c.1. Perangkat Lunak CST Studio Suite..... | 37 |
| c.2. Metode CDS (<i>Cyclic Difference Set</i>) | 39 |
| c.3. Desain Antena Mikrostrip | 41 |
| c.4. Pengujian Antena Mikrostrip | 43 |
| 2.1.2. Hasil Penelitian Terkait Perangkat Lunak CST Studio..... | 49 |
| 2.1.3. Hasil Penelitian Terkait Metode CDS (<i>Cyclic Difference Set</i>)..... | 50 |

| | | |
|------|------------------------|----|
| 2.2. | Kerangka Berfikir..... | 51 |
|------|------------------------|----|